

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

**Návrh RTP pro zkružování plášťových plechů  
šroubovaných nádrží**

***Design of the Robotized Workplace for Bending the  
Envelope Plates of Bolted Reservoirs***

Student:

Jan Štefko

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Sztefek

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Štefko**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Návrh RTP pro zkružování plášťových plechů šroubovaných nádrží**

### Design of the Robotized Workplace for Bending the Envelope Plates of Bolted Reservoirs

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současná výrobní zařízení pro technologii zkružování plechových dílů a jejich výrobní možnosti.
2. Popište technologii výroby plášťových plechů šroubovaných nádrží se zaměřením na popis technologického postupu jejich zkružování.
3. Zpracujte varianty dispozičního řešení RTP.
4. Pro vybranou variantu RTP zpracujte technickou zprávu a výkres dispozičního řešení RTP v AutoCADu.
5. Zpracujte konstrukční návrh vybrané dílčí části RTP dle upřesnění vedoucího práce a tento doložte potřebnými výpočty a sestavným výkresem v AutoCADu.
6. V závěru zhodnoťte výsledky práce.
7. Práci taky doložte v elektronické podobě ve formátu editoru Microsoft Word.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BURKOVIČ, J. *Mechanizace a automatizace výrobních zařízení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. 115 s. ISBN 80-248-0513-8.
- [2] BURKOVIČ, J. *Návrhování RTP*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. 114 s. ISBN 80-248-0217-1.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Sztefek**

Datum zadání: 30.11.2009  
Datum odevzdání: 21.05.2010



  
prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.5. 2010

.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20.5. 2010

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Štefko

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ostrava, Výškovice  
Výškovická 510/182  
okr. Ostrava - Město

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ŠTEFKO, J. *Návrh RTP pro zakružování plášťových plechů šroubovaných nádrží: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2010, 48 s. Vedoucí práce: Sztefek, J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem robotizovaného pracoviště (RTP) pro zakružování plášťových plechů šroubovaných nádrží. V úvodu je popsána technologie zakružování a představeny jsou výrobní zařízení pro tuto technologii. V programu Pro/ENGINEER jsou vymodelovány tři varianty dispozičního řešení RTP. Pro jednotlivé varianty je zpracován funkční popis. Za pomoci hodnotové analýzy je vybrána optimální varianta. Pro vybranou variantu je vytvořena technická zpráva s popisem jednotlivých částí RTP. Jako konstrukční prvek je řešen přísavkový efektor, který je doložen potřebnými výpočty. Výsledkem práce je vytvoření dispozičního výkresu RTP a sestavného výkresu efektoru.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

ŠTEFKO, J. *Design of the Robotized Workplace for Bending the Envelope Plates of Bolted Reservoirs: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010, 48 p. Thesis head: Sztefek, J.

Bachelor thesis is dealing with design of the robotized workplace (RWP) for bending the envelope plates of bolted reservoirs. The introduction describes the technology of bending and there are introduced production facilities for this technology. There are three model variants of RWP layout processed by the program Pro/ENGINEER. Functional description for individual variants is drafted. Using the methods of value analysis, the optimum variant is selected. For chosen variant is created technical report with description of single parts RWP. Suctional effector is processed as construction segment, documented with needed calculations. The result of work is to create dispositional drawing RWP and assembly drawing effector.

## Obsah

Seznam zkratk .....	7
Úvod.....	9
<b>1. Technologie zakružování a výroba plášťových plechů.....</b>	<b>10</b>
1.1 Příklady stávajících výrobních zařízení a jejich stručná charakteristika .....	13
1.2 Technologický popis výroby plášťových plechů šroubovaných nádrží.....	16
<b>2. Návrhy variant .....</b>	<b>18</b>
2.1 Specifikace zadání.....	18
2.2 Návrh varianty č. 1 .....	19
2.3 Návrh varianty č. 2 .....	20
2.4 Návrh varianty č. 3.....	22
<b>3. Výběr optimální varianty .....</b>	<b>24</b>
3.1 Stanovení důležitosti a vah kritérií.....	25
3.2 Matice jednoduchých užítností .....	26
3.3 Matice vážených užítností.....	26
<b>4. Optimální varianta RTP .....</b>	<b>28</b>
<b>5. Konstrukční návrh přísavek .....</b>	<b>35</b>
5.1 Návrh přísavky .....	35
5.2 Návrh počtu přísavek .....	35
5.2.1 Výpočet zatížení přísavky .....	36
5.2.2 Výpočet počtu přísavek.....	37
5.3 Konstrukční rozmístění přísavek.....	38
5.4 Všeobecná kontrola podmínek uchopování OM.....	39
<b>6. Časová studie pohybů zařízení a technologických operací .....</b>	<b>40</b>
6.1 Výpočet času pro dosažení požadované hladiny vakua .....	41
6.2 Výsledná doba cyklu .....	43
<b>Závěr.....</b>	<b>44</b>
<b>Seznam použité literatury</b>	
<b>Seznam příloh</b>	

## Seznam zkratek

Značka	Jednotka	Popis
$a_x$	$m \cdot s^{-2}$	zrychlení v ose x
$a_z$	$m \cdot s^{-2}$	zrychlení v ose z
$C_t$	s	celková doba cyklu
D	m	průměr přísavky
DP	-	vyděrovaný plech
F	N	síla
$F_n$	N	normálová uchopovací síla
$F_u$	N	uchopovací síla
$F_{UV}$	N	výsledná uchopovací síla
g	$m \cdot s^{-2}$	gravitační zrychlení
$Q_1$	l/min	průměrný odsávaný objem zdroje vakua
$Q_{max}$	l/min	maximální sací výkon ejektoru
K1-K5	-	kritéria 1 – 5
k	-	koeficient bezpečnosti
$k_p$	-	polohovací koeficient
$k_t$	-	tvárový koeficient
L	m	délka
m	kg	hmotnost
n	ks	počet přísavek
$p_v$	Pa	hodnota vakua
RTP	-	robotizované pracoviště
RWP	-	robotized workplace
$s_1 - s_7$	m	dráha pohybu
S	$m^2$	plocha přísavky
t	s	čas
$T_{12}$	s	doba transportu ramene mezi body 1 a 2
$T_{1'3}$	s	doba transportu OM mezi body 1' a 3
$T_{2'1'}$	s	doba transportu OM mezi body 2' a 1'
$T_{22'}$	s	čas potřebný pro dosažení požadované hodnoty vakua
$T_{34}$	s	doba transportu OM mezi body 3 a 4
$T_{3'5}$	s	doba transportu ramene mezi body 3' a 5
$T_{4'3'}$	s	doba transportu ramene mezi body 4' a 3'
$T_{44'}$	s	čas potřebný pro zrušení vakua
$T_{56}$	s	doba transportu ramene mezi body 5 a 6
$T_{5'7}$	s	doba transportu OM mezi body 5' a 7
$T_{6'5'}$	s	doba transportu OM mezi body 6' a 5'
$T_{66'}$	s	čas potřebný pro dosažení požadované hodnoty vakua
$T_{78}$	s	doba transportu OM mezi body 7 a 8
$T_{7'1}$	s	doba transportu ramene mezi body 7' a 1
$T_{8'7'}$	s	doba transportu ramene mezi body 8' a 7'
$T_{88'}$	s	čas potřebný pro zrušení vakua
$T_{DV}$	s	doba transportu OM po dopravníku do zakružovačky
$T_{PV}$	s	doba spouštění podpěrného válečku
$T_{VD}$	s	doba transportu OM po výstupním dopravníku
$T_{ZK}$	s	doba zakružování
v	$m \cdot s^{-1}$	rychlost pohybu
V	$m^3$	objem vedení mezi přísavkou a ejektorem

$V_p$	$m^3$	objem přísavky
$v_x$	$m \cdot s^{-1}$	rychlost v ose x
$v_z$	$m \cdot s^{-1}$	rychlost v ose z
$ZP$	-	zakružený plech
$\varphi$	$^\circ$	úhel
$\Delta p$	Pa	vytvořený podtlak
$\mu$	-	součinitel tření
$\theta$	$^\circ$	úhel mezi prostorovým vektorem zrychlení a centrální osou chapadla kolmou na kontaktní plochu
$\theta_0$	$^\circ$	úhel mezi prostorovým vektorem gravitačního zrychlení a centrální osou chapadla kolmou na kontaktní plochu



## Úvod

Šroubované plášťové nádoby se používají jako zásobárna různých hmot. Tyto hmoty mohou být pevné, kapalné i plynné, ale nejčastější použití je jako zásobníky vody. Využívají se v budovách a různých komplexech při hašení požárů jako rezervoáry.

Cílem práce je navrhnout vhodné RTP pro zakružování plášťových plechů šroubovaných nádrží tak, aby bylo docíleno zrychlení pracovního procesu, stabilizace výroby, snížení zmetkovosti a ulehčení manipulace s materiálem. Práce je rozdělena do šesti kapitol.

V první části práce je zpracována technologie zakružování plechů a možnosti současných výrobních zařízení. Představeni jsou někteří výrobci těchto zařízení. Jednotlivé zařízení jsou stručně charakterizovány. Dále je popsána technologie výroby plášťových plechů šroubovaných nádrží a naznačen je postup výroby.

Druhá část práce je zaměřena na návrh varianty RTP. Zde je vytvořen požadavkový list, ze kterého se vychází při návrhu jednotlivých pracovišť. Navrženo je výrobní zařízení, které je dále použito na všech pracovištích. Následně jsou vypracovány tři varianty dispozičního řešení RTP. Varianty jsou vymodelovány v programu Pro ENGINEER, kde je viditelné rozmístění jednotlivých komponentů RTP. Pro každou variantu je zpracován popis, naznačující konstrukci a funkčnost jednotlivých variant.

V třetí části je řešen výběr optimální varianty RTP za pomoci metody rozhodovací analýzy. Pro zhodnocení užitku jednotlivých variant je stanoveno pět kritérií. Vytvořena je matice jednoduchých užitností a za pomoci párového porovnání jsou určeny velikosti vah jednotlivých kritérií. Poté je z výsledků matice vážených užitností navržena optimální varianta.

Čtvrtá část se zabývá podrobnějším popisem vybrané optimální varianty RTP. Zde jsou představeny jednotlivé komponenty RTP s popisem jejich konstrukce a funkčnosti. Definované jsou parametry jednotlivých částí RTP.

V páté části je proveden konstrukční návrh efektoru a dimenzování přísavek. Nejprve je určena uchopovací síla přísavky a poté je proveden výpočet potřebného počtu přísavek. Na základě zjištěného počtu přísavek je provedeno jejich rozmístění. V závěru kapitoly je provedena všeobecná kontrola přísavek.

Poslední část práce je zaměřena na časovou studii pohybů zařízení a technologických operací. Sestaven je vztah pro určení celkové doby cyklu. Dále je určen potřebný čas na vytvoření požadované hodnoty vakua.

## 1. Technologie zakružování a výroba plášťových plechů

K výrobě nádrží je třeba plášťových plechů, které se vyrábějí zakružováním a dalšími doprovodnými operacemi jako např. děrování, stříhání, atd. Nezbytné pro výrobu těchto nádrží je zakružování, které patří do technologie tváření materiálů za studena. Specifikací této technologie je, že jde o tvářecí proces ohýbání příčným zakružováním, při kterém dochází k intenzivnímu přetváření, zasahující poměrně malý objem součástí, který je vyvolán působením momentu vnější síly.

Zakružováním lze tvářet plochy rovinné nebo členité plochy v plochu válcovou, kuželovou nebo jen části těchto ploch (viz obr.1.1).

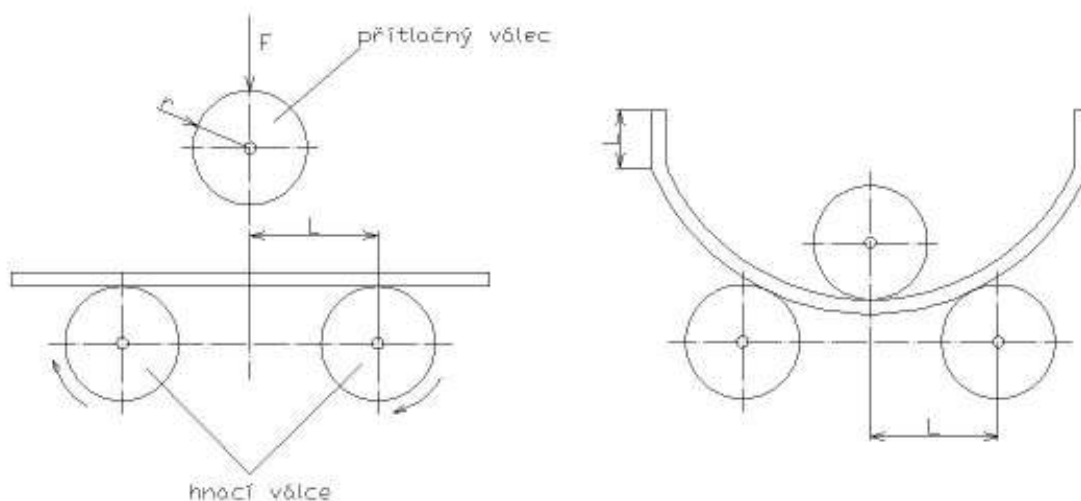


obr. 1.1 Příklady tvářených ploch

Pro realizaci každé technologie je potřebné výrobní zařízení. Zakružovací stroje, na nichž se ohýbání příčným zakružováním provádí, se nazývají zakružovačky. Tyto stroje je možné rozdělit do dvou skupin, na tříválcové a čtyřválcové zakružovačky a také podle polohy na horizontální a vertikální.

### Tříválcová zakružovačka

Schématický obr. 1.2 jednoduše znázorňuje princip práce a také obvyklé uspořádání válců.

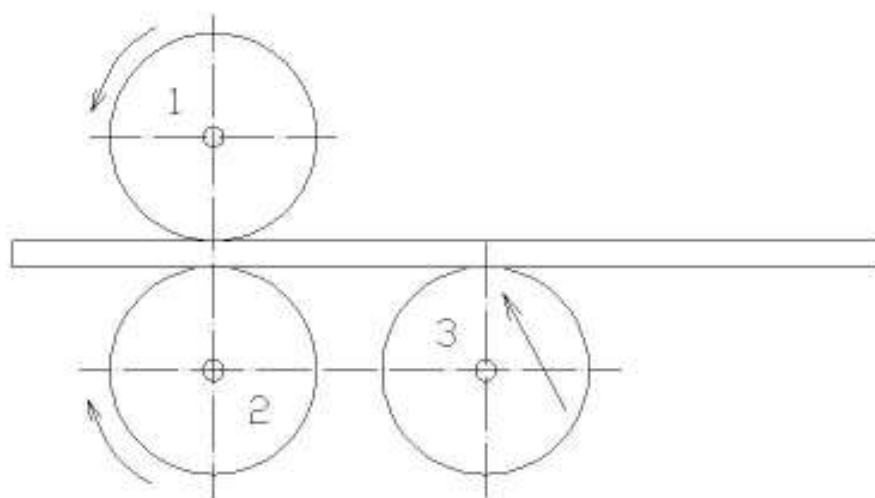


Obr. 1.2 Schéma tříválcové zakružovačky

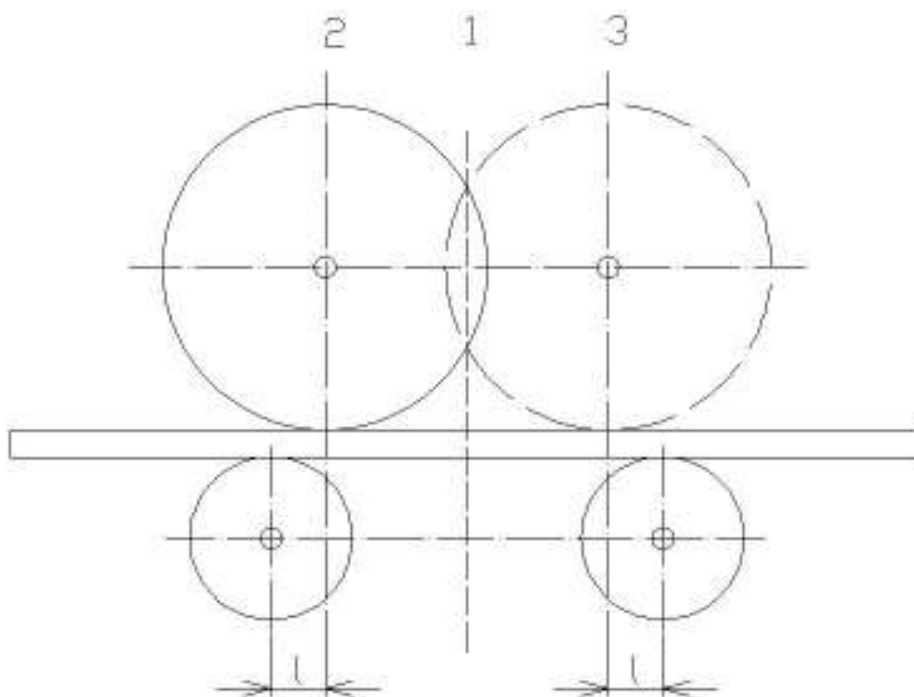
### Princip činnosti :

Spodní válce jsou poháněny, horní válec je přitlačován. Zakružovaný materiál se posouvá střídavě tam a zpět a zároveň na horní válec působí přitlačná síla „F“. Tímto způsobem se postupně ohne zakružovaný materiál do požadovaného tvaru. Okraje materiálu o délce „L“ zůstanou nezakrouženy.

Podstatnou nevýhodou při ohýbání na tříválcových zakružovačkách uvedeného typu je nezbytnost předohýbaní okrajů materiálu na jiném stroji. Této nevýhodě je však možné předejít změnou konstrukce tříválcové zakružovačky (viz obr. 1.3 a 1.4).



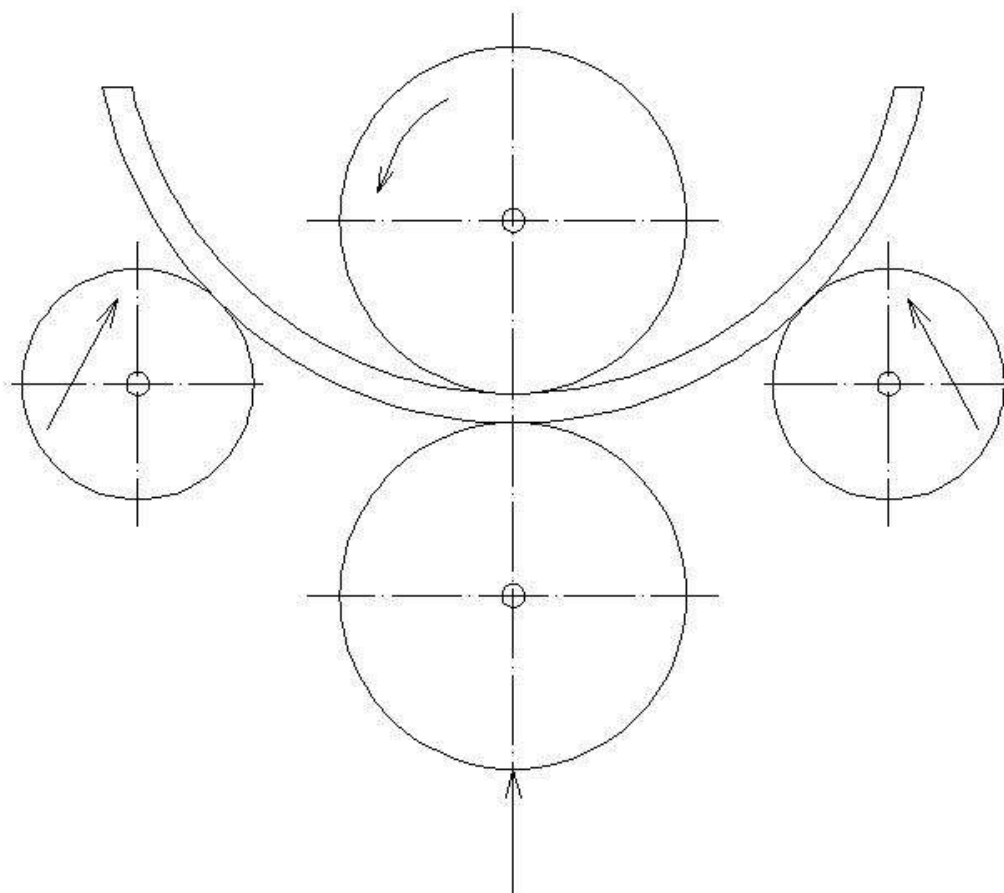
Obr. 1.3 *Uspořádání válců 1*



Obr. 1.4 *Uspořádání válců 2*

## Čtyřválcová zakružovačka

Schématický obr. 1.5 jednoduše znázorňuje princip práce a také uspořádání válců.



Obr 1.5 Schéma čtyřválcové zakružovačky

### Princip činnosti :

Spodní válce jsou přitlačovány, horní válec je poháněn. Zakružovaný materiál se posouvá a zároveň na něj působí spodní válce přitlačnou silou. Tímto způsobem se postupně ohne zakružovaný materiál do požadovaného tvaru. Velkou výhodou je konstrukce čtyřválcové zakružovačky, díky které je dovoleno zakroužení celého materiálu i s okraji.

Výrobci zabývající se výrobou zakružovacích strojů jsou: METALLKRAFT, První hanácká BOW, Proma, DAVI, AKYAPAK, ROUND0, Luna, Smetal, KUMLA, STANKOIMPORT, Semet.

## 1.1 Příklady stávajících výrobních zařízení a jejich stručná charakteristika

Firma METALLKRAFT nabízí:

Elektrická zakružovačka plechu METALLKRAFT - RBM 1270-40 E



Obr 1.6 Zakružovačka METALLKRAFT - RBM 1270-40 E

Charakteristika:

- Elektrická zakružovačka plechu.
- Masivní, velice stabilní litinová konstrukce.
- Asymetricky nastavitelné válce s výklopným horním válcem.
- Lehce a samostatně přestavitelný zadní a spodní válec umožňují kónické zakružování.
- Válce vyrobeny z vysokopevnostní oceli ST-1050.
- Na spodním a zadním válci jsou drážky pro zakružování kulatiny.
- Nožní ovládání s bezpečnostním spínačem umožňuje lepší manipulaci s materiálem.
- Horní výklopný válec umožňuje snadné odebrání hotového dílce.
- Volitelný, pomocí ovládacího panelu s digitálním ukazatelem, elektricky přestavitelný zadní válec.
- Vysoká přesnost opakovaného nastavení.
- Ideální pro sériovou výrobu.

Firma AKYAPAK nabízí:

4-válcové zakružovačky plechu Akyapak – AHS



Obr 1.7 Zakružovačka Akyapak – AHS

Charakteristika :

- Hydraulické otevírání horního válce, odebrání hotových dílů.
- Ukazatel polohy bočních válců.
- Konstrukcí stroje je zajištěna velká přesnost rovnoběžnosti postranních válců.
- Nejvyšší produktivita práce (až o 80% oproti 3-válcovým).
- Velmi krátký předhyb.
- Dvě rychlosti zakružování.
- Ve standardním provedení také kalené válce a příslušenství na zakružování kuželů.
- Možnost CNC řízení.

Firma ROUND0 nabízí:

### 3-válcová zakružovačka plechů ROUND0 - PS

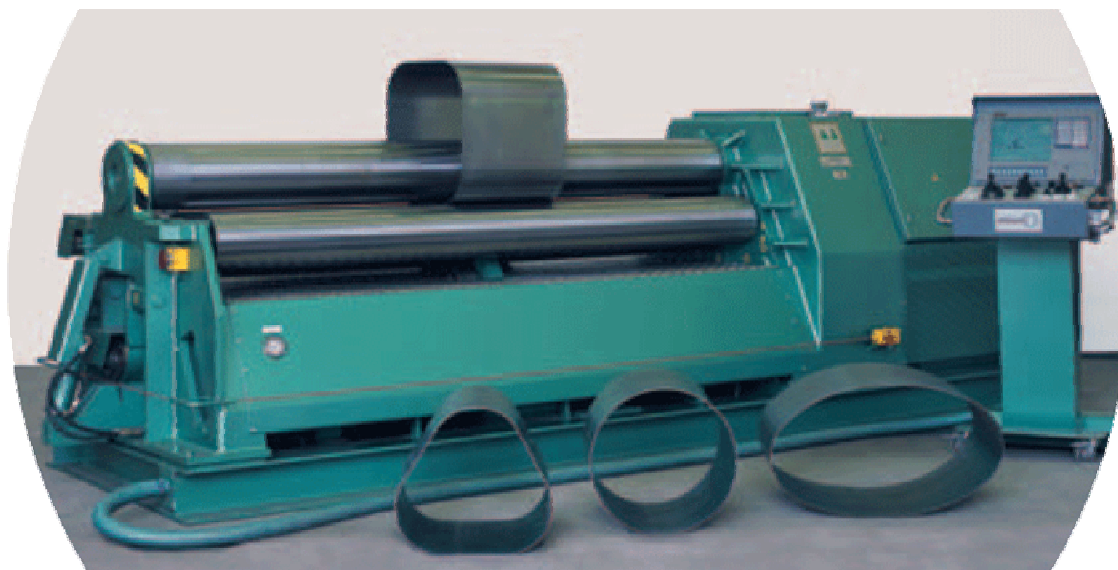


Obr 1.8 Zakružovačka ROUND0 - PS

#### Charakteristika:

- Plně hydraulická, plynule nastavitelná rychlost rotace a nastavení válců.
- Vysoký krouticí moment je bezkonkurenční.
- Rámy stroje jsou vyrobeny z vysoko-pevnostní ocele, plně svařované a vyžíhané k odstranění vnitřního pnutí před dalším opracováním. Takto zpracované rámy stroje mají dostatečnou schopnost absorbovat ohybové síly a dosahují maximální možné přesnosti.
- Mnohoúčelový stroj se širokým pracovním rozsahem.
- Vynikající pro konické ohyby.

#### 4-válcová zakružovačka plechů ROUND0 - PASS 230



Obr.1.9 Zakružovačka ROUND0 – PASS 230

##### Charakteristika:

- Vysoká kapacita předohybu. V mnoha případech je zbývajících plochý konec tak krátký jako jedna tloušťka plechu.
- Plně hydraulická, plynule měnitelná rychlost válců, řízení a nastavení válců.
- Vysoký krouticí moment je bezkonkurenční.
- Rámy stroje jsou vyrobeny z vysoko-pevnostní ocele, plně svařované a vyžehnané na odstranění vnitřního pnutí před dalším opracováním. Takto zpracované rámy stroje mají dostatečnou schopnost absorbovat ohybové síly a dosahují maximální možné přesnosti.
- Stroje jsou standardně postaveny s takovou mechanickou precizností a pevností, že mohou být všechny vybaveny CNC řízením.
- Vynikající pro konické ohyby, i pro předohýbání konických plechů.
- Jednoduše integrováno na výrobní linku.

## 1.2 Technologický popis výroby plášťových plechů šroubovaných nádrží

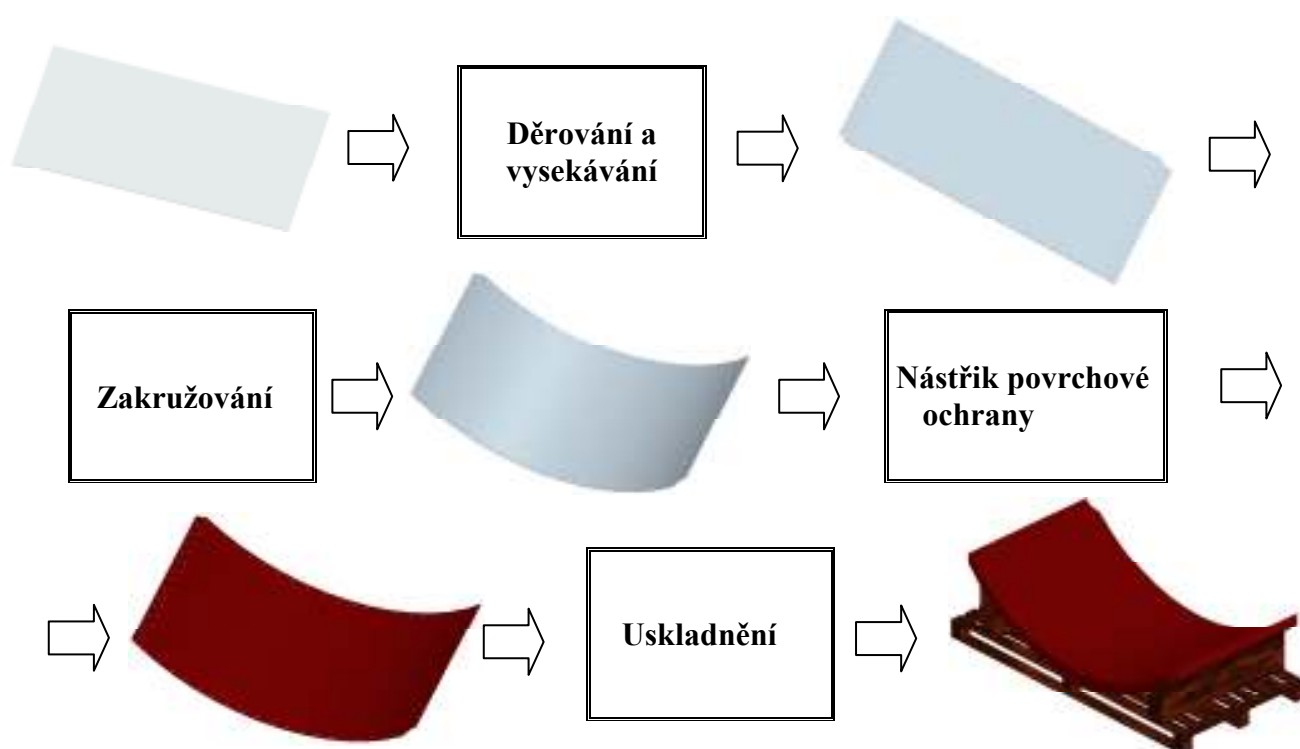
Nádrže se vyrábějí ze žárově zinkovaných plechů nebo žárově zinkovaných plechů opatřených povrchovou ochrannou vrstvou ve formě vypalovacího nástriku v barvě podle přání. Plechy jsou jakosti St-37 - St-52. Jednotlivé tloušťky plechů a typ děrování jsou navrženy v souladu s platnými normami a předpisy. Dle požadavků zákazníka je možné vyrobit plášťové nádoby o objemu 26 - 4120 m<sup>3</sup> a průměrech 3 - 25 m ([15]).



### Postup výroby:

Výrobní proces plášťových plechů je možné rozdělit na čtyři základní operace: děrování, vysekávání, zakružování a nástřik.

Výrobní proces (viz obr 1.10), se skládá ze vstupního polotovaru, kterým je pozinkovaný plech. Tento plech je dále upraven na lisu, kde jsou vyděrovány otvory a provedeno technologické odseknutí částí plechu dle výkresové dokumentace. Zastřižený a vyděrovaný plech je dále zpracováván na zakružovacím zařízení, kde je provedeno zakružení podle výkresové dokumentace. Takto upravený plech je následně zpracováván v nástřikové komoře, kde je nástřikán barvou dle technické dokumentace. Nástřikáný plech je uskladněn na paletu a připraven k expedici.



Obr. 1.10 Schéma výrobního procesu

## 2. Návrhy variant

Ve výrobním procesu je řešen problém zakružování plechů. Tato výrobní operace v sobě zahrnuje manipulaci se vstupním vyděrovaným plechem (DP), samotné zakružení a manipulaci s výstupním zakruženým plechem (ZP). Pro navržení variant takového RTP je nutné specifikovat zadání.

### 2.1 Specifikace zadání

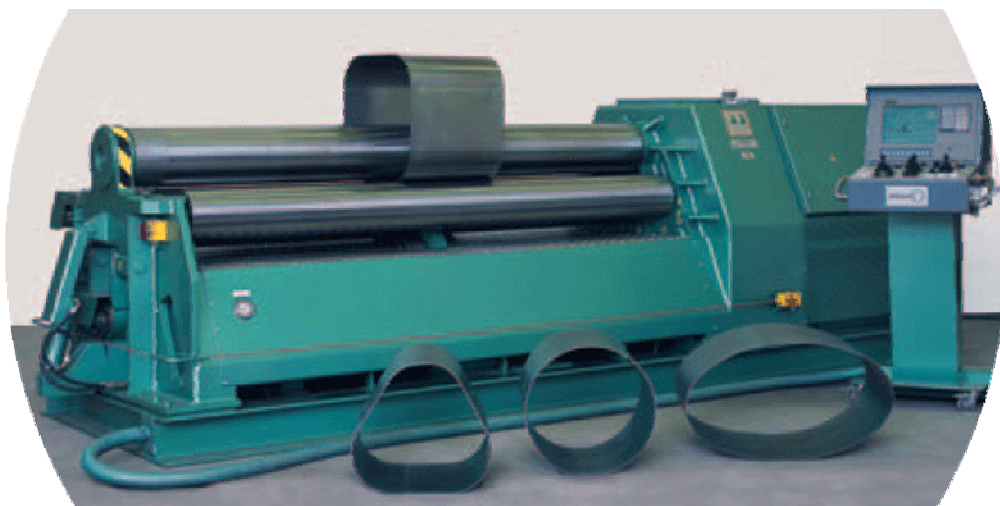
V rámci upřesnění zadání je vytvořen požadavkový list.

#### Požadavkový list

Minimální tloušťka plechu [mm]:	3
Maximální tloušťka plechu [mm]:	6,3
Minimální šířka plechu [mm]:	625
Maximální šířka plechu [mm]:	1250
Délka plechu [mm]:	2500
Maximální hmotnost objektu manipulace [kg]:	155
Minimální průměr nádrže [mm]:	3000
Maximální průměr nádrže [mm]:	25000
Počet vyrobených kusů/měsíc:	8000
Směnnost provozu:	dvousměnný

#### Návrh zakružovačky

Zakružovací zařízení bude pro všechna RTP stejné. Na základě upřesněného zadání a provedené analýzy výrobních zařízení je zvolena zakružovačka od švédské společnosti ROUND0 typ PASS 230 (obr. 2.1). Toto zařízení nejlépe vyhovuje všem požadovaným parametrům. Stroj je vybaven řídicím CNC panelem, který je možné řídit z centrálního velínu.



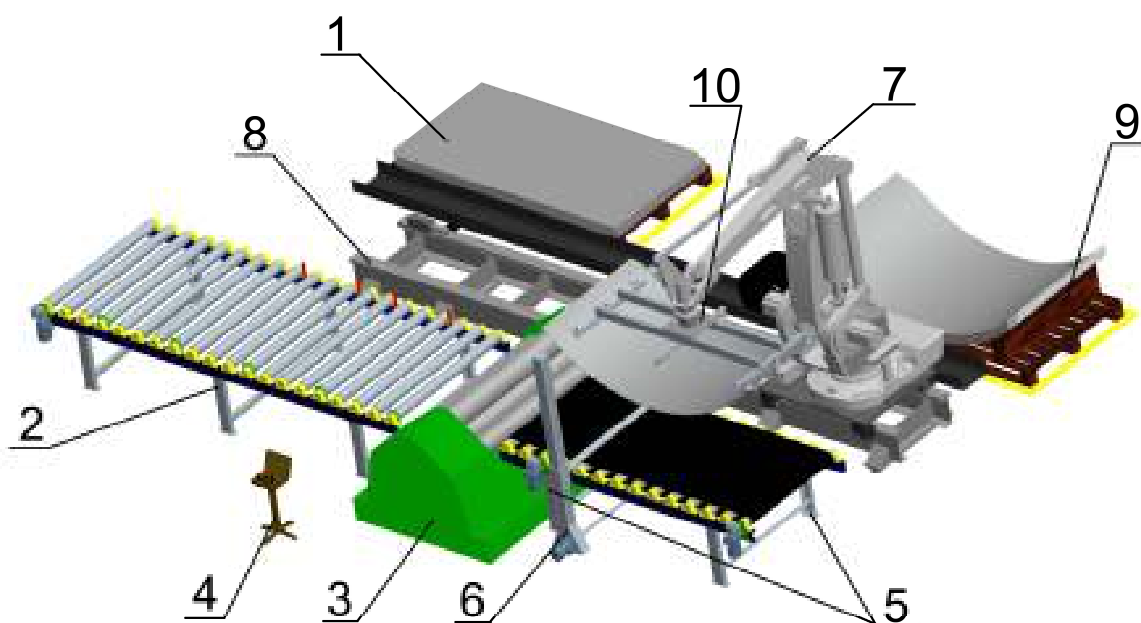
Obr. 2.1 Zakružovačka ROUND0 typ PASS 230

Zakružovací kapacity	Průměr horního a spodního válce	Průměr postranních válců	Výkon motoru	Hrubá hmotnost
mm	mm	mm	kW	kg
1500 x 10	230	195	5,0	7800

Tab. 2.1 Specifikace zakružovačky

## 2.2 Návrh varianty č. 1

V této kapitole je proveden návrh jednotlivých komponentů RTP. V programu Pro/ENGINEER jsou jednotlivé části RTP vymodelovány a naznačeno je jejich schématické uspořádání (obr. 2.2). Dále je vytvořen konstrukční a funkční popis RTP.



Pozice	Název
1	Vstupní paleta
2	Vstupní dopravník
3	Zakružovačka ROUND0
4	Panel CNC řízení
5	Výstupní dopravník
6	Podpěrný váleček
7	Robot ABB IRB660
8	Pojezd Robotu
9	Výstupní paleta
10	Efektor přísavkový

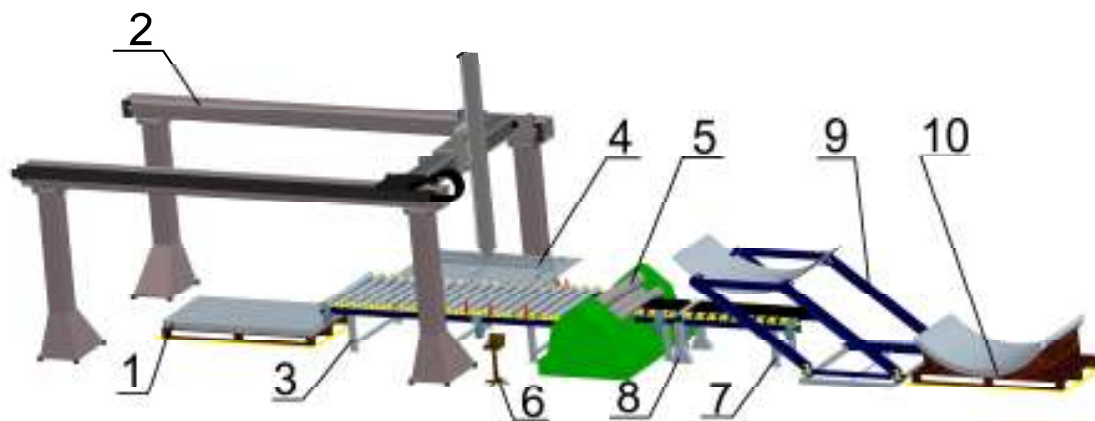
Obr. 2.2 Schéma uspořádání varianty č. 1

### Popis varianty

Ze schématu uspořádání RTP je viditelné, že jako vstupní člen je paleta DP (1). Z této palety je za pomoci uchopného přísavkového efektoru (10), který je upevněn na koncovém členu robotu (7), přesunut DP na vstupní válečkový dopravník (2). Robot je umístěn na pojezdu (8), aby mohl obsluhovat jak vstupní, tak výstupní dopravník (5). Součástí vstupního dopravníku je také centrovací vedení. Funkce tohoto vedení spočívá ve vycentrování plechu ke hraně dopravníku tak, aby DP byl dopravovaný kolmo do zakružovacích válců. Zakružovačka (3) si za pomoci horního a spodního válce uchopí plech a provede zakružování plechu. Na výstupu ze zakružovačky je umístěn výstupní dopravník. Tento dopravník je rozdělen podpěrným válečkem (6) na dvě části. Součástí dopravníku je také pryžový pás, který slouží k lepšímu transportu ZP. Podpěrný váleček postupně podpírá vyjíždějící plech. Po dokončení zakružování sjíždí dolů a tím přesunuje ZP na pás dopravníku. ZP je přesunut po dopravníku do pozice, která nekoliduje s vedením podpěrného válečku a robotem. Zde je ZP uchopen přísavkovým efektem a za pomoci robotu přesunut na výstupní paletu (9). Robot umístěný na pojezdu se vrací zpět ke vstupní paletě a výrobní proces se znovu opakuje.

### 2.3 Návrh varianty č. 2

Zde je proveden návrh jednotlivých komponentů RTP. V programu Pro/ENGINEER jsou jednotlivé části RTP vymodelovány a je naznačeno jejich schématické uspořádání (obr. 2.3). Dále je vytvořen konstrukční a funkční popis RTP.



Pozice	Název
1	Vstupní paleta
2	Portálový manipulátor GÜDEL
3	Vstupní dopravník
4	Efektor přísavkový
5	Zakružovačka ROUNDRO
6	Panel CNC řízení
7	Výstupní dopravník
8	Podpěrný váleček
9	Paralelogram
10	Výstupní paleta

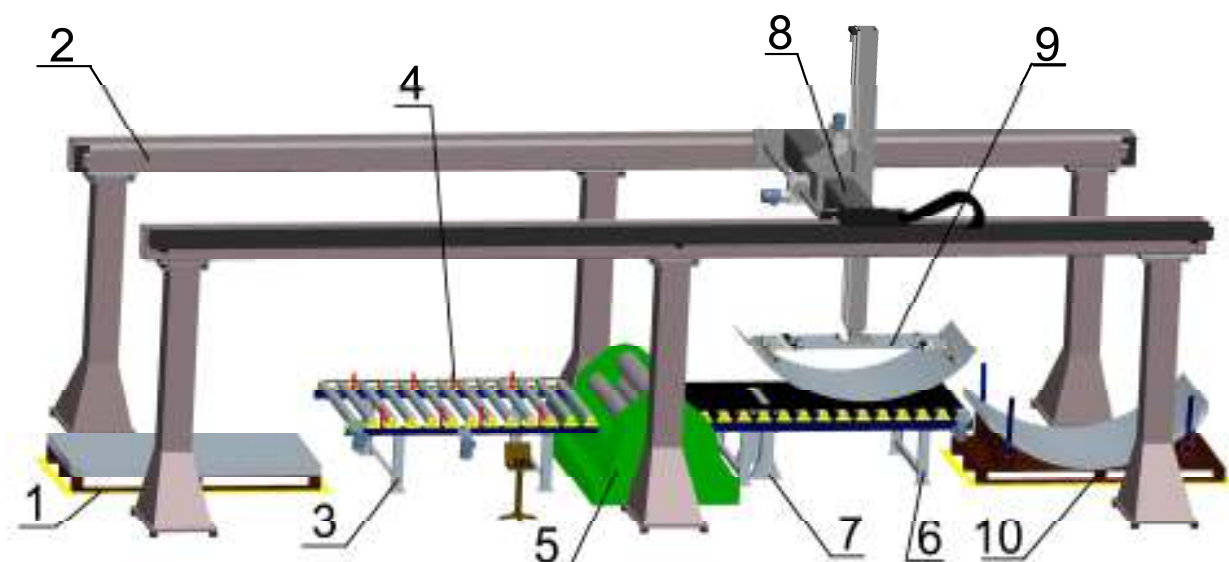
Obr. 2.3 Schéma uspořádání varianty č. 2

### Popis varianty

Ze schématu uspořádání RTP je viditelné, že jako vstupní člen je paleta DP (1). Z této palety je za pomoci uchopného přísavkového efektoru (4), který je upevněn na koncovém členu portálového manipulátoru (2), přesunut DP na vstupní válečkový dopravník (3). Součástí dopravníku je také centrovací vedení. Funkce toho vedení spočívá v tom, že vycentruje DP ke středu dopravníku. Následně je DP přesunut kolmo do zakružovacích válců. Zakružovačka (5) za pomoci horního a spodního válce uchopí plech a provede zakružení. Na výstupu ze zakružovačky je umístěn výstupní dopravník (7). Součástí dopravníku je pryžový pás, který slouží k lepšímu transportu ZP. Podpěrný váleček (8) rozděluje výstupní dopravník na dvě části. Funkce podpěrného válečku spočívá v postupném podepírání vyjíždějícího plechu. Po dokončení zakružení sjíždí podpěrný váleček dolů a tím přesune ZP na pás dopravníku. ZP je přesunut po dopravníku do pozice pro přiblížení paralelogramu (9). Za pomoci elektromagnetických čelistí je uchopen ZP a přesunut nad paletu. Po přerušení napětí v elektromagnetech je uchopovací síla čelistí zrušena. Dochází k uvolnění čelistí a paralelogram se odtáhne od ZP a plech padá na výstupní paletu (10). Celý proces zakružování se znovu opakuje.

## 2.4 Návrh varianty č. 3.

V této kapitole je proveden návrh jednotlivých komponentů RTP. V programu Pro/ENGINEER jsou jednotlivé části RTP vymodelovány a je naznačeno jejich schématické uspořádání (obr. 2.4). Dále je vytvořen konstrukční a funkční popis RTP.



Pozice	Název
1	Vstupní paleta
2	Portálový manipulátor GÜDEL
3	Vstupní dopravník
4	Centrovací vedení
5	Zakružovačka ROUND0
6	Výstupní dopravník
7	Podpěrný váleček
8	Pojezd portálu
9	Efektor přísavkový
10	Výstupní paleta

Obr. 2.4 Schéma uspořádání varianty č. 3

### Popis varianty

Ze schématu uspořádání RTP je viditelné, že jako vstupní člen je paleta vyděrovaných plechů (DP) (1). Z této palety je za pomoci uchopného přísavkového efektoru (9), který je upevněn na koncovém členu pojezdu portálu (8), přesouván DP na vstupní válečkový dopravník (3). Součástí dopravníku je centrovací vedení (4), které vycentruje DP ke středu dopravníku. Pomocí vstupního dopravníku je přesunut DP kolmo do válců. Zakružovačka (5) za pomoci horního a spodního válce uchopí plech a provede

zakružení. Na výstupu ze zakružovačky je umístěn výstupní dopravník (6). Součástí dopravníku je pryžový pás, který slouží k lepšímu transportu (ZP). Ve výstupním dopravníku je implementovaný podpěrný váleček (7), který slouží k podepření vyjíždějícího plechu ze zakružovačky. Po dokončení procesu zakružování sjíždí podpěrný váleček dolů a tím přesouvá ZP na pás dopravníku. ZP je transportován po dopravníku ze zakružovačky do pozice pro odebrání. Zde je za pomoci přísavkového efektoru uchopen ZP a přesunut na výstupní paletu (10). Pojezd portálu se vrací nad vstupní paletu a celý proces se opakuje.

### 3. Výběr optimální varianty

V následující kapitole je řešen výběr optimální varianty RTP za pomoci metody rozhodovací analýzy.

#### Popis metody řešení

Rozhodovací analýza je nástrojem, který pomáhá s rozhodnutím v případě, že existuje několik kritérií, podle kterých jsou hodnoceny jednotlivé varianty. Úlohou rozhodovací analýzy je přehledně zpracovat dostupné informace a pokud je to možné, objektivně je analyzovat s cílem doporučit jednu, nebo několik málo variant k realizaci.

Hodnoceny jsou následující varianty:

- varianta 1,
- varianta 2,
- varianta 3.

Pro zhodnocení užitku jednotlivých variant je potřebné stanovit kritéria hodnocení a tyto kritéria vyčíslit. Vyčíslená kritéria je potřebné optimalizovat, tedy buď maximalizovat nebo minimalizovat.

Při konzultaci s vedoucím bakalářské práce byla zvolena kritéria a k nim byly přiděleny následující cílové požadavky:

- kritérium 1 – zastavěná plocha → minimální,
- kritérium 2 – kolizní výška → minimální,
- kritérium 3 – složitost řídicího systému → minimální,
- kritérium 4 – tok materiálu → maximální,
- kritérium 5 – náročnost na údržbu → minimální,

V **matici jednoduchých užitností** jsou jednotlivá kritéria hodnocena na základě změřených parametrů, subjektivního názoru a je jim přidělena hodnota od 1 do 5. Při rozhodování není kladený stejný význam na všechna kritéria, proto je nutné jednotlivým kritériím přiřadit váhy. Na určení velikosti vah kritérií je nejčastěji používána **metoda párového porovnávání**, ve které jsou postupně porovnávány mezi sebou dvě kritéria. Po ukončení porovnávání jsou vyhodnoceny výskyty preferencí jednotlivých kritérií a je vytvořeno pořadí. Nejvíce preferovaná varianta je varianta s největším bodovým ohodnocením. **Matice váženého užitku** je sestavena tak, že hodnota kritérií z tabulky jednoduchých užitností je vynásobená vahou, která danému kritériu přísluší. Kromě toho je



sestavena ideální varianta, které hodnota je stanovena jako maximum kritéria z jednotlivých variant.

### Posuzovaná kritéria

zastavěná plocha – plocha tvořená obrysovými rozměry,  
kolizní výška – maximální výška při manipulaci s plechem,  
složitost řídicího systému – znamená náročnost při přeprogramování systému,  
tok materiálu – celkový čas potřebný ke zpracování plechu od vstupu na výstup,  
náročnost na údržbu – prostředky potřebné na údržbu při poruchách nebo potížích.

Všechny uvedené varianty s konkrétním hodnocením zvolených kritérií jsou přehledně uvedeny v tab. 3.1.

	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4	Kritérium 5
<b>Jednotky</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>-</b>	<b>m</b>	<b>-</b>
<b>Varianta 1</b>	46	3	2	24	2
<b>Varianta 2</b>	84	4,5	3	15	3
<b>Varianta 3</b>	50	4,5	4	22	4

Tab. 3.1 Hodnocení vybraných kritérií u příslušných variant

### 3.1 Stanovení důležitosti a vah kritérií

Zvolená kritéria mají pro vybraný subjekt různou váhu. Důležitost kritérií je určena pomocí metody párového porovnávání. Metoda je založená na změřených parametrech a subjektivním hodnocení. Následně je určeno, které ze dvou vzájemně porovnávaných kritérií je důležitější.

Na základě počtu výběrů jednotlivých kritérií je stanoveno jejich pořadí. Kritériu s největším počtem výběrů je přiřazeno první místo a zároveň má největší váhu. Kritériu s nejmenším počtem výběrů je přiřazeno poslední místo a má nejmenší váhu. Pořadí i váhu kritérií určuje tab. 3.2.

Stanovení důležitosti kritérií				Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
<u>K1</u>	K1	<u>K1</u>	<u>K1</u>	2	2.	1.57
K2	<u>K3</u>	<u>K4</u>	<u>K5</u>			
	K2	K2	<u>K2</u>	0.5	3.	1.14
	<u>K3</u>	<u>K4</u>	<u>K5</u>			
		<u>K3</u>	<u>K3</u>	3.5	1.	2
		K4	<u>K5</u>			
			<u>K4</u>	2	2.	1.57
			<u>K5</u>	2	2.	1.57

Tab. 3.2 Metoda porovnávání párů

### 3.2 Matice jednoduchých užitností

Jednotlivým variantám jsou v matici jednoduchých užitností přiděleny hodnoty od 1 do 5. Variantě, která optimálně splňuje cílové požadavky, je přidělena maximální hodnota. Ostatní varianty jsou porovnávány s nejvyšší hodnotou varianty a jejich hodnota je proto nižší. V tab. 3.3 je matice jednoduchých užitností.

	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4	Kritérium 5	Jednoduchá užitnost
<b>Varianta 1</b>	5	4	2	2	2	15
<b>Varianta 2</b>	2	3	3	4	3	16
<b>Varianta 3</b>	4	3	4	3	4	18

Tab. 3.3 Matice jednoduchých užitností

Podle matice jednoduchých užitností se jeví jako neoptimálnější varianta 3.

### 3.3 Matice vážených užitností

Pomocí matice vážených užitností je určena celková a relativní užitnost jednotlivých variant. Hodnoty z matice jednoduchých užitností jsou vynásobeny váhami jednotlivých kritérií. Na výpočet relativní užitnosti je potřebné určit také hodnotu maximální varianty. Celková užitnost je součtem zjištěných hodnot kritérií dané varianty. Relativní užitnost je podíl celkové užitnosti dané varianty a součtu maximální hodnoty

varianty. Vypočtené hodnoty relativní užítlosti jsou zaokrouhleny na celá čísla a uvedeny v tab. 3.4.

	<b>K 1</b>	<b>K 2</b>	<b>K 3</b>	<b>K 4</b>	<b>K 5</b>	<b>Celková užítlost</b>	<b>Relativní užítlost</b>
<b>Váha</b>	1,57	1,14	2	1,57	1,57	–	–
<b>Varianta 1</b>	7,85	4,56	4	3,14	3,14	22,69	58 %
<b>Varianta 2</b>	3,14	3,42	6	6,28	4,71	23,55	60 %
<b>Varianta 3</b>	6,28	3,42	8	4,71	6,28	28,69	73 %
<b>Varianta max.</b>	7,85	5,7	10	7,85	7,85	39,25	100 %

Tab. 3.4 *Matice vážených užítlostí*

Podle matice vážených užítlostí se jeví jako neoptimálnější varianta 3.

### **Vyhodnocení rozhodovací analýzy**

Na základě provedené rozhodovací analýzy, kterou byl řešen výběr optimální varianty RTP zakružování plášťových plechů, byla vybrána varianta 3. Tato varianta má největší hodnotu jednoduché užítlosti i vážené užítlosti.

## 4. Optimální varianta RTP

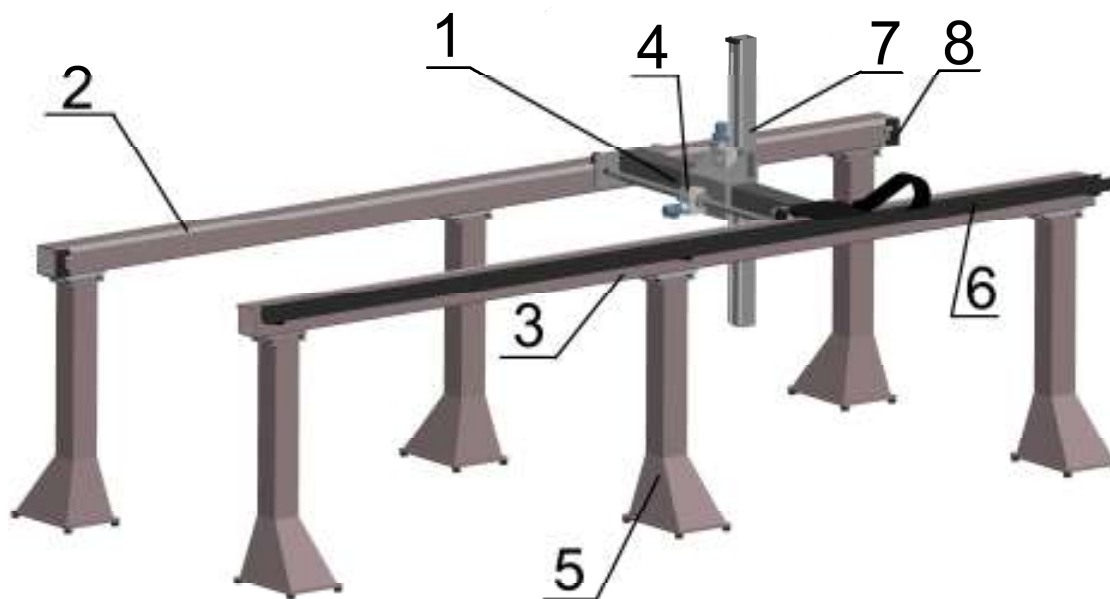
V kapitole jsou blíže vyspecifikovány jednotlivé komponenty *RTP*.

**Vstupní paleta** je přepravovaná od děrovacího lisu pomocí vysoko zdvižného vozíku a ustavena na předem stanoveném místě vyznačeném žlutou barvou. Počet *DP* je dán její nosností. Paleta je vyrobena z dřevěných prvků a její parametry jsou uvedeny v tab. 4.1.

Výška	Šířka	Délka	Nosnost
mm	mm	mm	kg
145	1250	2500	1500

Tab. 4.1 Parametry palety

**Portálový manipulátor** je vyráběný firmou GÜDEL typ FP 5 (obr. 4.1). Na základě objednávky je portál dodaný ve dvouosém provedení. Parametry portálového manipulátoru jsou uvedeny v tab. 4.2. Portál je tedy dvouosý, složený ze dvou nosníků (3), na kterých je umístěna lineární kolejnice (2). Detail kolejnice (obr. 4.2). Na pojezdu portálu (1) jsou umístěny šnekové servopřevodovky (4) s motory a vertikální nosník (7). Detail servopřevodovky je zachycen na obr. 4.3. Celý portál je podepřen šesti sloupy (5) pro dostatečnou tuhost. Konce pojezdů jsou opatřeny dorazy (8).



Pozice	Název
1	Pojezd portálu
2	Lineární kolejnice
3	Nosník vedení
4	Šneková servopřevodovka s motorem
5	Sloup
6	Kabeláži vedení
7	Vertikální nosník
8	Doraz

Obr. 4.1 Schéma Portálového manipulátoru



Obr. 4.2 Detail lineární kolejnice

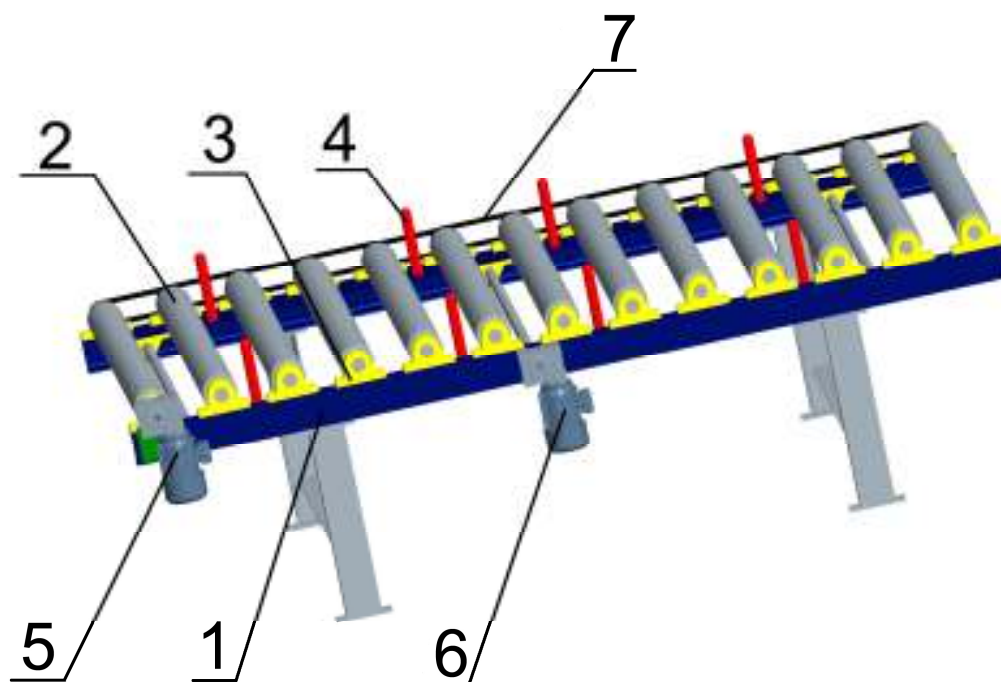


Obr. 4.3 Detail servopřevodovky typ AE 090

<b>DÉLKA</b>	[mm]	<b>10700</b>					
<b>VÝŠKA</b>	[mm]	<b>3000</b>					
<b>ŠÍRKA</b>	[mm]	<b>3750</b>					
<b>OSA</b>		<b>X</b>			<b>Z</b>		
Zatížení	[-]	Vysoká dynamika	Optimální	Vysoké zatížení	Vysoká dynamika	Optimální	Vysoké zatížení
Užitečné zatížení	[N]	1600	2500	4000	1600	2500	4000
Rychlost	[m·min <sup>-1</sup> ]	150	100	60	100	60	37,5
Zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]	2	1,5	1	8	2	1
Odstupňování převodů převodovky	[-]	4	6	10	6	10	16
Velikost typu převodovky	[-]	090	090	090	090	090	090
Posuv motoru	[mm]	50	33,33	20	33,33	20	12,5
Doba zrychlení	[s]	1,25	1,111	1	0,208	0,5	0,625
Délka zdvihu při zrychlení	[m]	1,563	0,926	0,5	0,174	0,25	0,195
Otáčky motoru	[min <sup>-1</sup> ]	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Mezní moment motoru	[Nm]	7	4,9	3,3	16	13,4	12,9
Max. moment motoru	[Nm]	43,4	24,2	11,9	29,4	16,4	14,5
Setrvačnost os	[kgm <sup>2</sup> ]	1,30E-01	6,20E-02	2,40E-02	8,20E-03	4,30E-03	2,70E-03

Tab. 4.2 Parametry portálového manipulátoru

**Vstupní dopravník** (obr. 4.4) se skládá z rámu dopravníku, který je smontován z profilů U100, třinácti válečků o průměru 100 mm (2) osazených z obou stran ložisky. Za pomoci ložiskových domků jsou válečky upevněny na rám dopravníku (1). Všechny válečky jsou vzájemně propojeny od poháněného válečku řetězem (7). Pohon válečku (5) je tvořený šnekovou převodovkou a elektromotorem. Převodovka je nasunuta na hřídel hlavního válečku a upevněna na přírubu stojanu. Součástí dopravníku je také centrovací vedení (4), které slouží k vycentrování *DP*. Centrovací vedení je tvořeno dvěma proti sobě položenými vedeními. Vedení se skládá z profilu L50, na kterém jsou upevněny čtyři trny, matice kuličkového šroubu, dvě kluzná pouzdra, do nichž jsou nasunuty vodící tyče. Pohyb vedení je zprostředkován kuličkovým šroubem, na kterém je připojen pohon (6). Pohon je tvořený šnekovou převodovkou a elektromotorem.



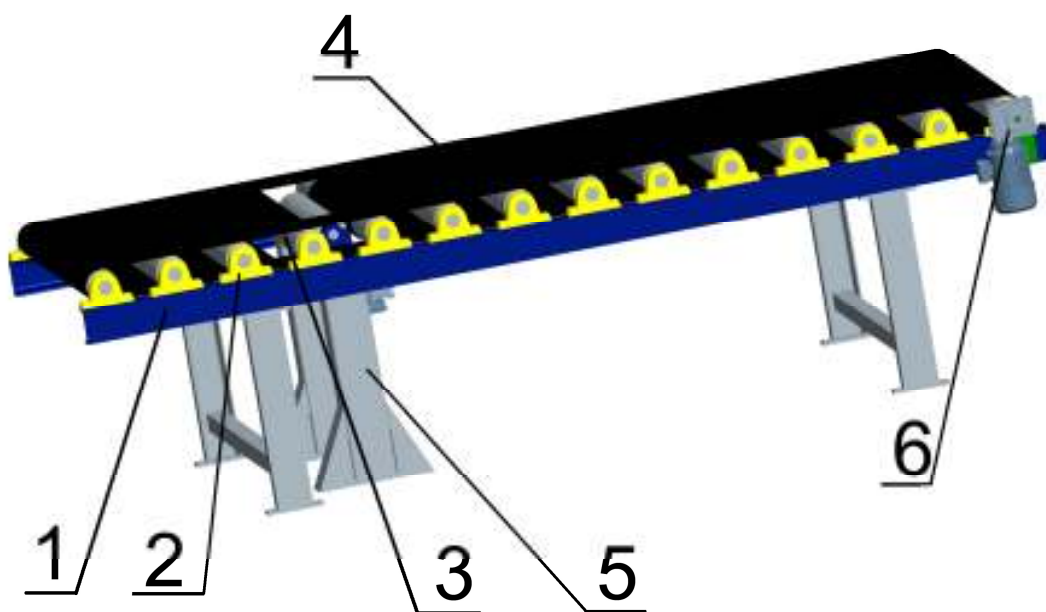
Pozice	Název
1	Rám dopravníku
2	Válec dopravníku
3	Ložiskový domek
4	Centrovací vedení
5	Pohon dopravníku
6	Pohon centrovacího vedení
7	Spojovací řetěz

Obr. 4.4 Schéma vstupního dopravníku

**Zakružovačka** je od švédské společnosti ROUNDO typ PASS 230 (obr. 2.1). Jde o čtyřválcovou hydraulickou zakružovačku se dvěma hlavními válci o průměru 230 mm a

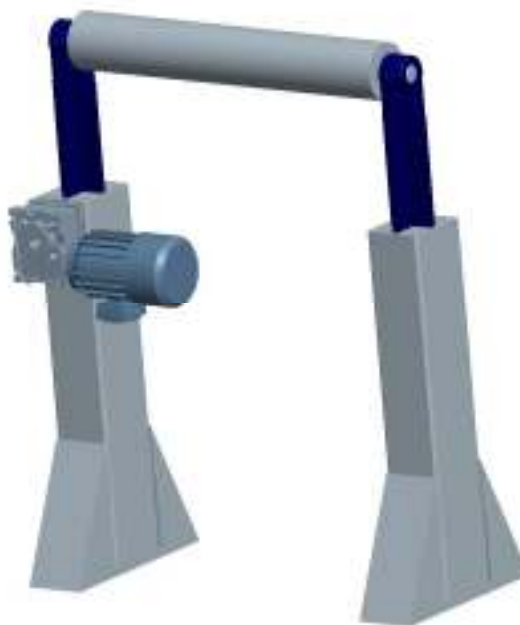
dvou postranních válců o průměru 190 mm. Válce jsou vyrobeny z kované vysokopevnostní ocele za účelem získání maximální tvrdosti povrchu. Aby válce vyhovovaly nejširší možné tloušťce plechu, jsou bombírované. Všechny válce jsou uloženy ve sférických ložiscích nejvyšší kvality, zaručující minimální ztráty třením a dlouhou životnost. K nastavení spodního a postranních válců dochází za pomoci plně hydraulického pohonu s rotačním pohybem. Rovnoběžnosti spodního válce je docíleno nastavitelnými klínovými bloky a hydraulickým válcem. Toto nastavení je velmi přesné a zaručuje dokonalou rovnoběžnost válců. Maximální šířka zakružovaného plechu je 1500 mm a tloušťka 10 mm. Nezbytnou součástí zakružovačky pro automatizovanou výrobu je CNC řízení, které je schopno řídit najednou až 12 os. Systém CNC řízení garantuje přesnosti polohování válců 0,1 mm i při různém zatížení.

**Výstupní dopravník** ( obr. 4.5) se skládá z rámu dopravníku, který je smontovaný z profilu U100, čtrnácti válečků o průměru 100 mm (3) osazených z obou stran ložisky. Za pomoci ložiskových domků (2) jsou válečky upevněny na rám dopravníku (1). Na válečkách jsou nasazeny čtyři pryžové pásy (4), tak že jsou poháněny od prvního hnacího válečku a dopnuty posledním válečkem jednotlivých pásů. Pohon dopravníku (6) je tvořen šnekovou převodovkou a elektromotorem. V dopravníku je také zabudovaný podpěrný váleček (5), viz obr. 4.6. Podpěrný váleček je tvořen jedním válečkem o průměru 95 mm, který je uložen v kluzných pouzdrech zdvihacích ramen. Jeho pohon je tvořen šnekovou převodovkou a elektromotorem. K posouvání válečku dochází díky ozubenému hřebenu na jednom z ramen a otáčením ozubeného kola na výstupu z převodovky. Podpěrný váleček slouží k podepření ZP a následnému sklopení ZP na pás dopravníku.



Pozice	Název
1	Rám dopravníku
2	Ložiskový domek
3	Válec dopravníku
4	Přezbové pásy
5	Podpěrný váleček
6	Pohon dopravníku

Obr. 4.5 Schéma výstupního dopravníku

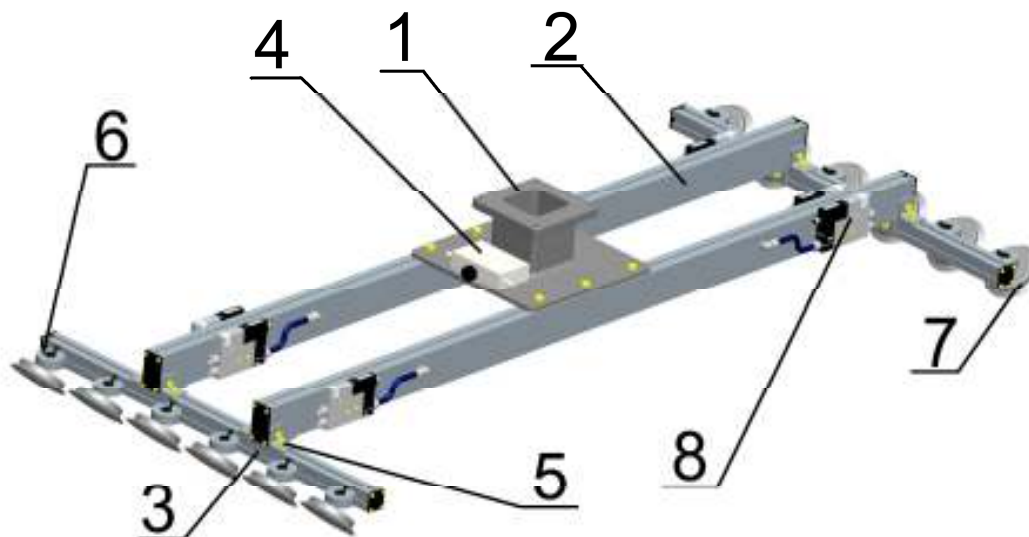


Obr. 4.6 Podpěrný váleček

**Přísavkový efektor** (obr. 4.7) je sestaven z komponentů od společnosti Schmalz a Festo. Kotvicím prvkem k portálu je interface (1), na který jsou přišroubovány dva nosné profily 80 x 40 x 1800 mm. Profil je tvořený ze tří komor a dvou postranních drážek. Konce profilů jsou utěsněny záslepkou, aby nedocházelo k úniku vzduchu. Dalším prvkem tvořícím nosný rám efektoru jsou dva menší profily 40 x 40 x 900 (3), které jsou upevněny k profilům 80 za pomoci šesti montážních držáků (5) a dvanácti šroubů. Profil 40 je tvořený jednou komorou a třemi drážkami a konce profilů jsou utěsněny záslepkou. Detaily profilů viz obr. 4.8. Do drážek profilu 40 jsou upevněny tři univerzální kloubové držáky HTR-UNI 1N G2 (6). Na tyto drážky jsou připevněny přísavky SAF 125 (7). Pro správnou funkčnost přísavek jsou na efektoru připevněny vakuové ejektory OVEM (8) a vakuová jednotka VE15 (4). Ejektory slouží k rychlému vytváření nebo rušení vakua, bezpečnému udržování, čištění a kontrole vakua. Řízeny jsou elektromagnetickými impulzy. Opatřeny jsou LCD displejem, ze kterého lze odečítat aktuální hodnoty podtlaku. Vakuová jednotka slouží jako zásobník, je opatřena manometrem pro odečítání přírodního



tlaku. Součástí efektoru je také přibližovací čidlo pro snadnější uchopování OM. Zdrojem vakua je vakuová pumpa EVE-OG, která je upevněna na pojezdu portálu. Pumpa je záměrně umístěna na pojezdu, aby nesnižovala užitnou nosnost portálu. Jednotlivé prvky vakuového systému jsou propojeny hadicemi a příslušným šroubením.



Pozice	Název
1	Interface
2	Profil 80 x 40
3	Profil 40 x 40
4	Vakuová jednotka VE15
5	Montážní držák
6	Držák HTR-UNI 1N G2
7	Přísavka SAF 125
8	Vakuový ejektor OVEM

Obr. 4.7 Schéma přísavkového efektoru



Obr. 4.8 Detaily profilů

**Výstupní paleta** je vyrobena z dřevěných částí a opatřena technologickým přípravkem pro ukládání ZP. Na přípravku jsou namontovány vodící lišty pro přesné ustavení ZP. Na obr. 4.9 je možné vidět konstrukci palety a v tab. 4.3 její parametry.

Výška	Šířka	Délka	Nosnost
mm	mm	mm	kg
145	1250	2500	1500

Tab. 4.3 *Parametry palety*



Obr. 4.9 *Výstupní paleta*

## 5. Konstrukční návrh přísavek

V této kapitole bude zvolen druh a typ přísavky, proveden návrh počtu přísavek a jejich rozmístění. V poslední části bude provedena všeobecná kontrola podmínek uchopování OM.

### 5.1 Návrh přísavky

Přísavka byla navržena od společnosti Schmalz. Jedná se o speciální vakuovou přísavku pro uchopení kovových plechů a vyznačující se vysokou horizontální a vertikální přídržnou silou. Pro manipulaci byla zvolena vakuová přísavka typu SAF 125.0 NBR-60, parametry jsou v tab. 5.1.

Průměr	Materiál a tvrdost podle Shore	Přítlačná síla*	Posouvající síla**	Posouvající síla při mastné ploše**	Objem	Světlost přípojovací hadice
mm		N	N	N	cm <sup>3</sup>	mm
125	NBR-60	660	475	400	115	9

\* teoreticky naměřené hodnoty při hodnotě vakua -0,6 bar a rovného, suchého povrchu

\*\* teoreticky naměřené hodnoty při hodnotě vakua -0,6 bar a suchém resp. mastném, hladkém a rovném povrchu. Podle povrchu a vlastnostech materiálu se může skutečná hodnota lišit.

Tab. 5.1 *Parametry přísavky*

### 5.2 Návrh počtu přísavek

Pro správný návrh počtu přísavek je potřebné znát rozměry, hmotnost OM, charakter manipulační činnosti a uchopovací sílu. Z požadavkového listu vyplývá, že OM jsou různé tloušťky a šířky plechů, proto je nutné se zaměřit jen na největší a nejtěžší plech, viz tab. 5.2. Pohyb je zprostředkován dvouosým portálem, jedná se tedy o lineární transformaci. Je kladen důraz na plynulý pohyb bez rázů. Ze schématu pohybu OM (obr. 5.1) je viditelné, že největší namáhání je při zvedání OM. Hodnoty zrychlení a rychlosti pro jednotlivé osy optimálního zatížení jsou odečteny z parametrů portálu (viz tab. 4.2).

Tloušťka	Šířka	Délka	Hmotnost
mm	mm	mm	kg
6,3	1250	2500	155

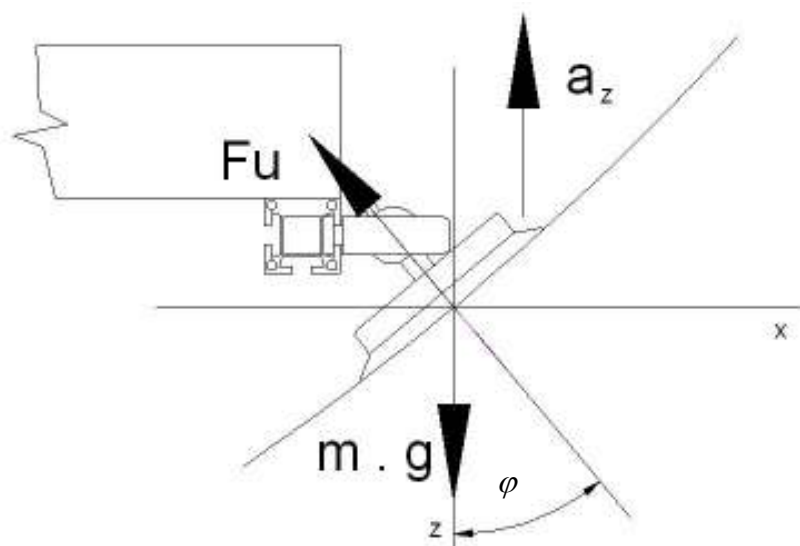
Tab. 5.2 *Parametry OM*



Obr. 5.1 Schéma pohybu

## 5.2.1 Výpočet zatížení přísavky

Největší zatížení je při vertikálním pohybu a je řešeno dle obr. 5.2.



Obr. 5.2 Schéma pohybu OM

Výpočet uchopovací síly je provedený podle vztahu (1).

$$F_u = \frac{m \cdot (g + a_z)}{\cos \varphi}, \quad (1)$$

kde  $F_u$  je uchopovací síla [N],  $m$  je hmotnost OM [kg],  $g$  je gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ],  $a_z$  je zrychlení v ose  $z$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ],  $\varphi$  je úhel [ $^\circ$ ].

$$F_u = \frac{155 \cdot (9,81 + 2)}{\cos 40^\circ} = \underline{\underline{2389,6 \text{ N}}}$$

Vypočtenou uchopovací sílu je třeba ještě rozšířit o polohovací a bezpečnostní koeficienty. Hodnota koeficientu bezpečnosti se stanovuje z částečných koeficientů: omezení způsobu uchopení OM, zohledňující kolísání vakua a zohledňující stav povrchu OM. Polohovací koeficient je roven 1,7 a bezpečnostní koeficient je 1,872. Výsledná uchopovací síla se určí ze vztahu (2)

$$F_{VU} = k \cdot k_p \cdot F_u \quad (2)$$

kde  $F_{VU}$  je výsledná uchopovací síla,  $k$  je koeficient bezpečnosti a  $k_p$  je polohovací koeficient.

$$F_{VU} = 1,872 \cdot 1,7 \cdot 2389,6 = \underline{\underline{7604,7 N}}$$

### 5.2.2 Výpočet počtu přísavek

Pomocí výsledné uchopovací síly a navržené přísavce vypočteme podle vztahu (3) počet přísavek potřebných k udržení OM.

$$n = \frac{F_{VU}}{k_t \cdot \Delta p \cdot S} \quad (3)$$

kde  $n$  je počet přísavek [ks],  $k_t$  je tvarový koeficient,  $\Delta p$  je vytvořený podtlak [Pa],  $S$  je plocha přísavky [ $m^2$ ].

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4)$$

kde  $D$  je průměr přísavky [m].

Použitím vztahů (3) a (4) je určen výsledný vztah pro určení počtu přísavek (5).

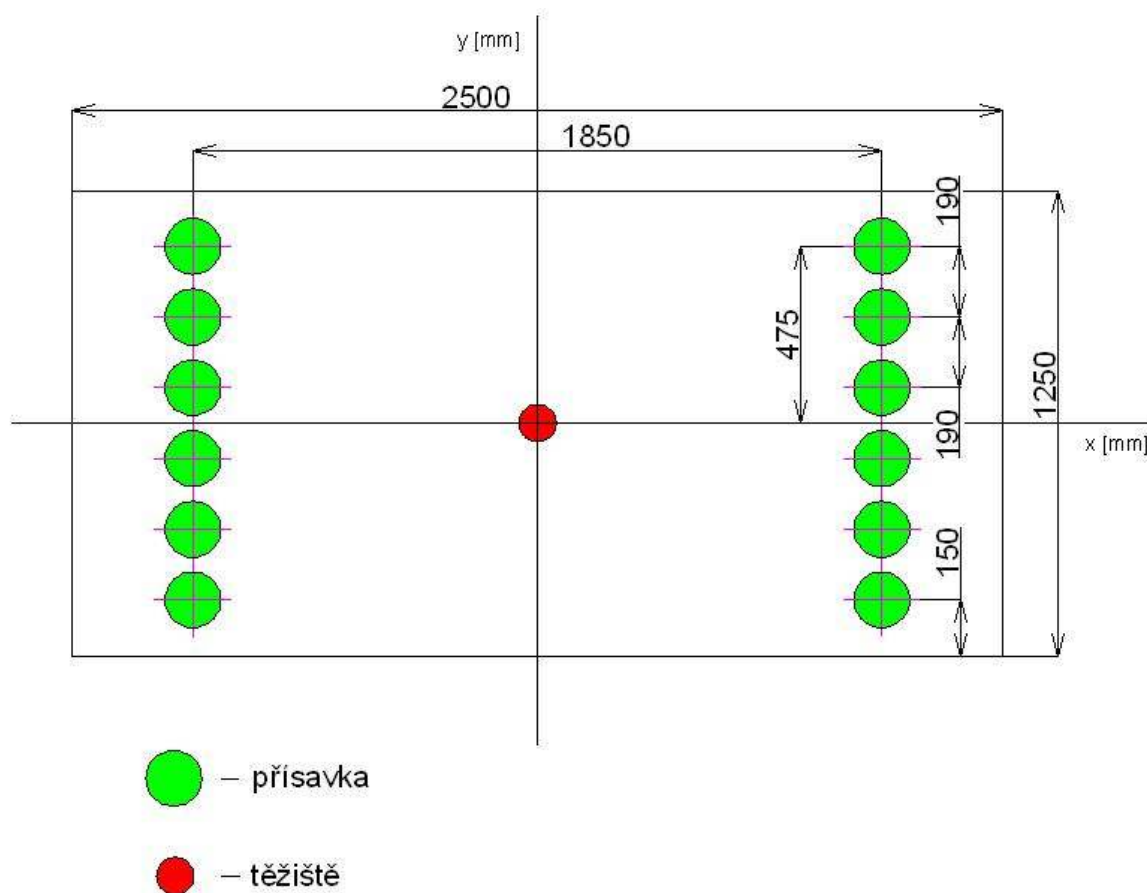
$$n = \frac{F_{VU}}{k_t \cdot \Delta p \cdot S} = \frac{4 \cdot F_{VU}}{k_t \cdot \Delta p \cdot \pi \cdot D^2} \quad (5)$$

$$n = \frac{4 \cdot 7604,7}{0,9 \cdot 60000 \cdot \pi \cdot 0,125^2} = 11,48$$

Z výše provedených výpočtů vyplývá, že počet přísavek potřebných pro udržení OM je 12 kusů.

### 5.3 Konstrukční rozmístění přísavek

Rozložení zatížení na jednotlivé přísavky musí být rovnoměrné, aby nedocházelo k poškození více namáhaných přísavek. Rozmístění přísavek je zobrazeno na obr. 5.4 Zde jsou přísavky symetricky rozloženy jak v ose x, tak v ose y.



Obr. 5.4 Schéma umístění přísavek

## 5.4 Všeobecná kontrola podmínek uchopování OM

Všeobecně, pro kontrolu podmínek uchopování OM podtlakovými hlavicemi se využívá vztah (6).

$$\mu \left( \frac{F_n \cdot n}{m \cdot k \cdot k_p} - g \cdot \cos \theta_0 + a \cdot \cos \theta \right) \geq g \cdot \sin \theta_0 + a \cdot \sin \theta \quad (6)$$

kde  $\mu$  je součinitel tření,  $F_n$  je uchopovací normálová síla,  $\theta_0$  je úhel mezi prostorovým vektorem gravitačního zrychlení a centrální osou chapadla kolmou na kontaktní plochu,  $\theta$  je úhel mezi prostorovým vektorem zrychlení a centrální osou chapadla kolmou na kontaktní plochu.

Výpočet normálové uchopovací síly je naznačen ve vztahu (7).

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta p}{4} \quad (7)$$

$$F_n = \frac{\pi \cdot 0,125^2 \cdot 60000}{4} = \underline{\underline{736,31N}}$$

Po dosazení výsledku normálové uchopovací síly do vztahu (6) je získán výsledný vztah pro všeobecnou kontrolu podmínek uchopování OM.

$$0,65 \cdot \left( \frac{736,31 \cdot 12}{155 \cdot 1,872 \cdot 1,7} - 9,81 \cdot \cos 40^\circ + 2 \cdot \cos 40^\circ \right) \geq 9,81 \cdot \sin 40^\circ + 2 \cdot \sin 40^\circ$$
$$\underline{\underline{7,75 \geq 7,59}}$$

Z výsledků všeobecné kontroly podmínek uchopování OM vyplývá, že navržený systém přísavek je dostačující.

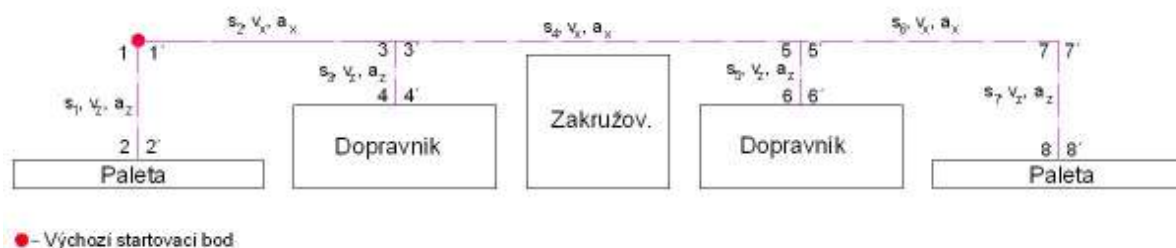
## 6. Časová studie pohybů zařízení a technologických operací

V této části je řešen celý cyklus pohybu OM. Jednotlivé pohybové cykly jsou analyzovány a je určena výsledná doba cyklu. Tato hodnota určuje čas potřebný ke zpracování jednoho plechu. Celý cyklus pohybu OM může mít v praxi složitý průběh, avšak pro pochopení a analýzu souvislostí je zjednodušeně naznačen na obr. 6.1.

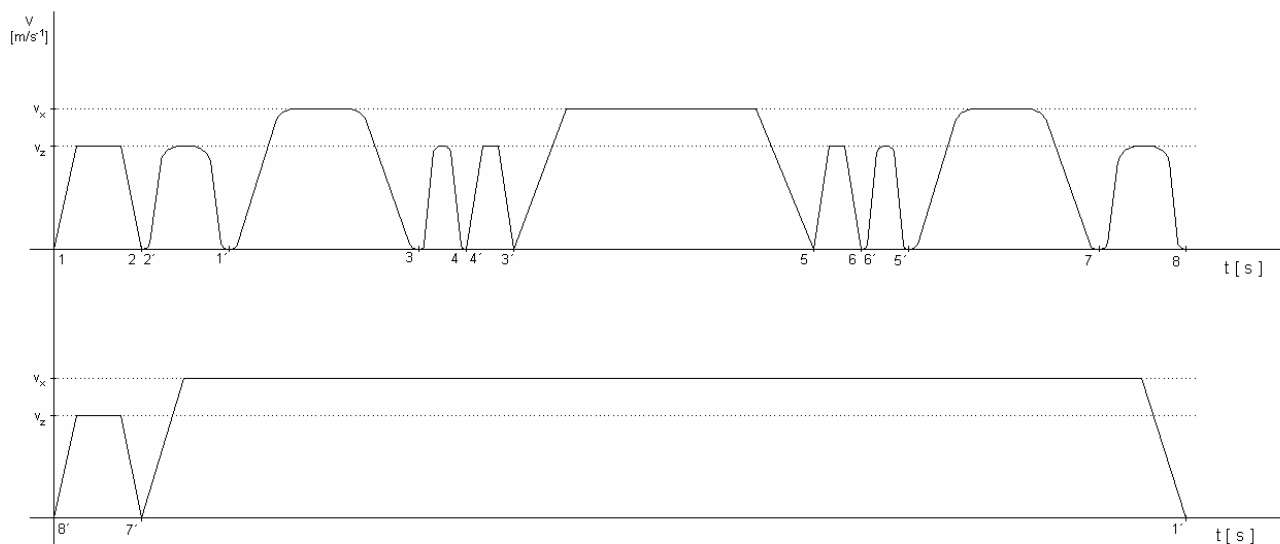
Pohybující se rameno portálu může být při pohybu ve třech základních pohybových stavech :

- Rozběh (zrychluje)
- Ustálený chod ( konstantní rychlost )
- Brzdění (zpomaluje)

Na základě znalosti pohybových cyklů OM a pohybových stavech je naznačen průběh rychlosti u jednotlivých cyklů (obr. 6.2).



Obr. 6.1 Schéma pohybu OM



Obr. 6.2 Průběh rychlosti u jednotlivých cyklů

Výsledná doba cyklu je dána trváním jednotlivých pohybových cyklů OM, ramene a technologických operací. Pro určení celkové doby je dán vztah (8).



$$C_t = T_{12} + T_{22'} + T_{2'1'} + T_{1'3} + T_{34} + T_{44'} + T_{4'3'} + T_{3'5} + T_{56} + T_{66'} + T_{6'5'} + T_{5'7} + T_{78} + T_{88'} + T_{8'7'} + T_{7'1} + T_{ZK} + T_{DV} + T_{PV} + T_{VD} \quad (8)$$

kde  $C_t$  je celková doba cyklu [s],  $T_{12}$  je doba transportu ramene mezi body 1 a 2 [s],  $T_{22'}$  je čas potřebný pro dosažení požadované hodnoty vakua [s],  $T_{2'1'}$  je doba transportu OM mezi body 2' a 1' [s],  $T_{1'3}$  je doba transportu OM mezi body 1' a 3 [s],  $T_{34}$  je doba transportu OM mezi body 3 a 4 [s],  $T_{44'}$  je čas potřebný pro zrušení vakua [s],  $T_{4'3'}$  je doba transportu ramene mezi body 4' a 3' [s],  $T_{3'5}$  je doba transportu ramene mezi body 3' a 5 [s],  $T_{56}$  je doba transportu ramene mezi body 5 a 6 [s],  $T_{66'}$  je čas potřebný pro dosažení požadované hodnoty vakua [s],  $T_{6'5'}$  je doba transportu OM mezi body 6' a 5' [s],  $T_{5'7}$  je doba transportu OM mezi body 5' a 7 [s],  $T_{78}$  je doba transportu OM mezi body 7 a 8 [s],  $T_{88'}$  je čas potřebný pro zrušení vakua [s],  $T_{8'7'}$  je doba transportu ramene mezi body 8' a 7' [s],  $T_{7'1}$  je doba transportu ramene mezi body 7' a 1 [s],  $T_{ZK}$  je doba zakružování [s],  $T_{DV}$  je doba transportu OM po dopravě do zakružovačky [s],  $T_{PV}$  je doba spouštění podpěrného válečku [s],  $T_{VD}$  je doba transportu OM po výstupním dopravě [s].

## 6.1 Výpočet času pro dosažení požadované hladiny vakua

Potřebný čas  $T_{22'}$  závisí na objemu ejektorem nasávaného vzduchu pro požadovanou hladinu vakua a objemu příslušných vedení včetně přísavky.

### Postup výpočtu

#### Výpočet průměrného odsávaného objemu $Q_1$ zdroje vakua

$$Q_1 = 1/3 \cdot Q_{\max} \quad (9)$$

kde  $1/3$  je opravný koeficient pro přísavky s průměrem od 40mm a  $Q_{\max}$  je maximální sací výkon ejektoru [l/min].

$$Q_1 = 1/3 \cdot 16 = \underline{\underline{5,33 \text{ l/min}}}$$

### Určení objemu $V$ vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua

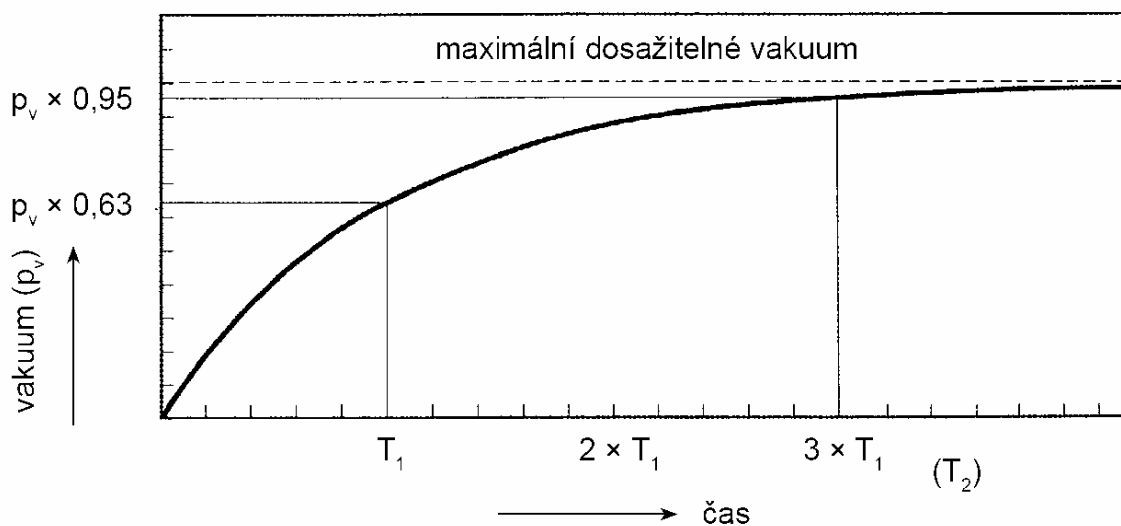
$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot L}{4} \quad (10)$$

kde  $d$  je světlost hadice [m],  $L$  je délka hadice od ejektoru k přísavce [m].

$$V = \frac{0,009^2 \cdot \pi \cdot 1}{4} = \underline{\underline{0,636 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}}$$

### Určení času $T_{22'}$ pro dosažení vakua

Čas pro dosažení potřebného vakua je možno určit pouze pro materiály bez pórů. Pro manipulaci s porézními materiály je možné jej stanovit pouze pokusem. V níže uvedeném diagramu (obr. 6.3) je viditelné, že v poměrně krátkém časovém úseku ( $T_1$ ) dosáhne vakuum 63 % dosažitelného maxima. Pro 95 % dosažitelného maxima je třeba přibližně 3 krát delšího času. Požadovaná hodnota vakua je -60KPa. Tato hodnota odpovídá přibližně 63 % dosaženého vakua. Čas potřebný k dosažení této hodnoty je dán vztahem (11).



Obr. 6.3 Poměr času k hladině dosaženého vakua

$$T_{22'} = \frac{(V + 2V_p) \cdot 60 \cdot 1000}{Q_1} \quad (11)$$

kde  $V_p$  je objem přísavky [ $\text{m}^3$ ].

$$T_{22'} = \frac{(0,636 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 0,115 \cdot 10^{-3}) \cdot 60 \cdot 1000}{5,33} = \underline{\underline{3,31s}}$$

Čas potřebný pro vytvoření požadované hodnoty vakua je 3,31s.

## 6.2 Výsledná doba cyklu

Výsledná doba cyklu se vypočítá podle výše uvedeného vztahu (8). Jednotlivé hodnoty  $T_{12}, T_{2'1'}, T_{1'3}, T_{34}, T_{4'3'}, T_{3'5}, T_{56}, T_{6'5'}, T_{5'7}, T_{78}, T_{8'7'}, T_{7'1}$  jsou určeny použitím programu od společnosti FESTO - Výběr prvku pro vakuum verze 3.21.1.6. Ostatní hodnoty jsou teoreticky odhadnuty.

$$C_t = 1,5 + 3,31 + 3,22 + 4,5 + 2,14 + 0,8 + 1 + 3,5 + 0,7 + 3,31 + 1,9 + 4,3 + 3,2 + 0,8 + 1,5 + \\ + 7,7 + 50 + 5,4 + 2,7 + 6,2 = \underline{\underline{107,68s}}$$

Z výsledku vyplývá, že celková doba cyklu je necelé dvě minuty. Tato hodnota odpovídá zhruba 9000 kusů měsíčně zpracovaných plechů.

## Závěr

Cílem práce bylo navrhnout optimální variantu RTP pro zakružování plášťových plechů šroubovaných nádrží.

Úvodní část projektu byla zaměřena na seznámení se s problematikou zakružování plášťových plechů šroubovaných nádrží a dále na výrobní zařízení pro zakružování. Představena byla aktuálně nabízená výrobní zařízení pro zakružování. Z těchto zařízení byla vybrána zakružovačka od švédské společnosti ROUNDO typ PASS 230.

V další kapitole byl vypracován požadavkový list, pomocí kterého byly sestaveny tři varianty RTP, které byly vymodelovány v programu Pro ENGINEER. Pro každou variantu byly vytvořeny schémata pracovišť a popis výrobní činnosti.

Ve třetí kapitole byl proveden výběr optimální varianty RTP za využití rozhodovací analýzy. Bylo stanoveno pět kritérií s různými vahami. Následně byla sestrojena matice jednoduchých a vážených užitností. Za optimální variantu byla zvolena třetí varianta, která je tvořena dvouosým portálovým manipulátorem od společnosti GÜDEL opatřeným přísavkovým efektoem, dále vstupním a výstupním dopravníkem a zakružovacím zařízením od společnosti ROUNDO.

Čtvrtá kapitola práce se zabývala bližší specifikací optimální varianty RTP se zaměřením na podrobnější popis jednotlivých komponentů. Definovány byly parametry jednotlivých částí RTP, do detailu byla zpracována konstrukce efektoru, vytvořen byl 3D model v Pro/ENGINEERu a sestavný výkres v AutoCADu.

V konstrukční části je proveden návrh přísavky efektoru, která byla navržena od společnosti Schmalz a byly definovány její parametry. Z pohybu OM bylo vybráno kritické zatěžovací místo a v tomto místě byl proveden výpočet uchopovací síly. Z hodnoty výpočtu  $F_{VU}$  se vycházelo při návrhu počtu přísavek. Z provedených výpočtů vyplynulo, že postačí 12 přísavek. V další části bylo provedeno konstrukční rozmístění přísavek, kde byl kladen důraz na symetrické rozložení jednotlivých přísavek. V poslední části byla provedena všeobecná kontrola podmínek uchopování OM. Výsledek provedené kontroly potvrdil, že dvanáct přísavek postačí pro udržení a přesun manipulovaného předmětu.

V poslední části práce je provedena časová studie pohybu zařízení a technologických operací. Na základě znalosti pohybu OM je vypracováno pohybové schéma. Schéma jednoduše naznačuje jednotlivé pohybové cykly, pro které je následně sestaven vztah pro určení celkové doby cyklu. Pomocí tohoto vztahu je určena výsledná doba cyklu, která je rovna necelým dvěma minutám. Výsledná hodnota je podkladem pro určení výkonu pracoviště. Na základě znalosti provozu je hodnota výkonu vyčíslena na

9000 kusů zpracovaných plechů za měsíc. Výkon navrženého pracoviště je v rámci kladených požadavků dostačující.

Vybraná optimální varianta RTP splňuje všechny požadavky na ni kladené. Má velkou výhodu v možném navýšení výrobního výkonu. Stačí na portál zabudovat druhý pojezd. Náročnost RTP na napájení není velká, postačí do výrobní haly umístit další rozvaděč, který bude napojen na centrální rozvod a budou v něm umístěny všechny potřebné jistící a řídící prvky. V rámci bezpečnosti se doporučuje celé pracoviště ohradit nebo označit bezpečnostní pěší zóny. Důležité je toto pracoviště ještě dodatečně vybavit senzorickým systémem, který bude monitorovat přítomnost vstupních, výstupních palet a hlásit poslední plech na paletě. Díky výše uvedeným krokům bude docílena plynulost a bezpečnost chodu RTP.

## Seznam použité literatury

### Odborní literatura

- [1] BURKOVIC, J. *Mechanizace a automatizace výrobních zařízení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2003. 115 s. ISBN 80-248-0513-8.
- [2] BURKOVIC, J. *Navrhování RTP*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2002. 114 s. ISBN 80-248-0217-1.
- [3] PALKO, A., SMRČEK, J. *ROBOTIKA: koncové efektory pre priemyselné a servisné roboty*. 1. vyd. Košice: Edícia vedeckej a odpornej literatúry – Strojnickej fakulty TU v Košiciach, 2004. 272 s. ISBN 80-8073-218-3
- [4] HLÁSEK, P. *Strojírenská technologie III*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986. 259 s.
- [5] NĚMEC, D. *Strojírenská technologie II*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. 240 s.
- [6] PETRUŽELKA, J., HRUBÝ, J. *Strojírenské tváření I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2001. 148 s. ISBN 80-7078-878-X.
- [7] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [8] SKAŘUPA, J., ZELINA, P. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1996. 102 s. ISBN 80-7078-304-4.
- [9] ZONKOVÁ, Z. *Rozhodování manažera*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1995. 99 s. ISBN 80-7078-254-4.

### Internetové zdroje

- [10] *Elektrická zakružovačka Metallkraft* [on-line]. URL: < <http://www.tvarnenie.sk/produkt/3813301-elektricka-zakruzovacka-plechu-rbm-1270-40-e-pro/>>.
- [11] *FESTO software pro výběr a konfiguraci* [on-line]. URL:< [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9533\\_11073.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/9533_11073.htm)>.
- [12] *FESTO vakuová technika* [on-line]. URL:< [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9523.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/9523.htm)>.
- [13] *GÜDEL moduly* [on-line]. URL: < <http://www.gudel.com/modules/>>.
- [14] *GÜDEL components* [on-line]. URL: < <http://www.gudel.com/components/linear-guideway-systems/monoroll/overview-technology-drive-concept-and-applications/>>.
- [15] *Kohimex* [on-line]. [citováno 2009-12-05]. URL: < <http://www.kohimex.cz/>>.

- [16] *Produkty a katalogy Schmalz* [on-line]. URL:< <http://www.marek.eu/cz/produkty/b-schmalz-b-vse-pro-vakuum/vakuove-komponenty/>.
- [17] *SMC Austria katalogy* [on-line]. URL:< <http://2009.oc.smc-cee.com/at/default.htm>>.
- [18] *Zakružovačky* [on-line]. URL: <[http://www.davi.com/\\_vti\\_g4\\_HProd\\_aspx\\_rpstry\\_11\\_--3-4-rolls-bending-machines-plate-bending-rolls-plate-folding-machines.sphtml](http://www.davi.com/_vti_g4_HProd_aspx_rpstry_11_--3-4-rolls-bending-machines-plate-bending-rolls-plate-folding-machines.sphtml)>.
- [19] *Zakružovačky plechů DAVI* [on-line]. URL:< <http://www.formetal.cz/>>.
- [20] *Zakružovačky plechů ROUNDO* [on-line]. URL:< <http://www.intech.cz/strojirenstvi-katalog-produktu/zakruzovacky-plechu-roundo-a-luna.html>>.
- [21] *Zakružovačky plechů ROUNDO PASS* [on-line].  
URL:< <http://www.roundo.com/index5.asp?siteid=1&pageid=20>>.

## **Seznam příloh**

**Příloha 1:** Dispoziční výkres RTP - STE519 – 01 – 01

**Příloha 2:** Sestavný výkres efektoru - STE519 – 01 – 01 – 06

**Příloha 3:** DVD – ROM, Štefko Jan, *Bakalářská práce*, 2010